

# Implementación de paradigma Cloud Manufacturing en cadena de suministro láctea uruguaya

Agustín Halty<sup>1</sup>, Rodrigo Sánchez<sup>1</sup>, Valentín Vázquez<sup>1</sup>, Víctor Viana<sup>1</sup>[0000-0003-3493-404X], Pedro Piñeyro<sup>1</sup>[0000-0002-9155-7968] and Daniel Rossit<sup>2</sup>[0000-0002-2381-4352]

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur and INMABB-CONICET, Bahía Blanca, Argentina  
lncs@springer.com

**Abstract.** Durante los últimos años las tecnologías digitales han generado una revolución intensa en los sistemas de producción dando lugar a nuevos paradigmas. Uno de esos paradigmas es el de Cloud Manufacturing en donde se propone la oferta y contratación de servicios de producción a través de las tecnologías Cloud. Este paradigma tiene una serie de potencialidades que permiten brindar un entorno apto para que distintas empresas puedan mejorar su capacidad de captar clientes, así como también de gestionar sus propios recursos y capacidades. En este trabajo se aborda un caso de la industria láctea, particularmente de Uruguay, en donde se evalúa el potencial de una implementación de un sistema de Cloud Manufacturing. Para ello se desarrollaron modelos de programación matemática que planifican la asignación de órdenes y sus respectivas fechas de entrega, considerando las capacidades de las distintas plantas y el suministro de materia prima. Esta evaluación permite mostrar que implementando una arquitectura de Cloud Manufacturing, todas las empresas podrían trabajar de manera más eficiente, aumentando el nivel de entrega de las órdenes pactadas.

**Keywords:** Cloud Manufacturing, Milk Industry, Mathematical Programming, Supply chain.

## 1 Introducción

Una de las principales tendencias que marca el sector de tecnología, es la que se define como *Cloud Computing*. Este modelo permite acceder, bajo demanda y a través de la red, a un conjunto de bienes compartidos y configurables permitiendo tener un amplio acceso a la red [1]. Con las nuevas tendencias y requerimientos de la fabricación industrial y las nuevas tecnologías, se propuso un nuevo paradigma de fabricación denominado *Cloud Manufacturing* [2]. En *Cloud Manufacturing* (CMg) los servicios de producción o fabricación y los clientes que los demandan están vinculados por una plataforma virtual en la nube, generando relaciones entre agentes que anteriormente no estaban vinculados. De esta forma, los clientes tienen acceso a un número creciente de

proveedores de servicios de fabricación, mientras que los proveedores de servicios tienen acceso a una mayor cantidad de clientes, en comparación a los que podrían obtener por sus propios medios [3].

En lo que refiere a la industria láctea uruguaya, y de acuerdo con datos de la FFDSAL (Fondo de Financiamiento y Desarrollo Sustentable de la Actividad Lechera), la principal empresa láctea del Uruguay concentra el 70% de la leche procesada a nivel industrial [4], por lo que el resto de las empresas deben competir de forma directa por la cuota de mercado restante, siendo realmente difícil para las PYMEs sostenerse en ese entorno. Ante esta realidad, se propone como herramienta de mejora implementar una arquitectura del tipo CMg en donde un conjunto de PYMES, puedan asociarse y organizarse [5]. Esto permitiría a las PYMES tener una visión más global de sus capacidades y recursos, y afrontar las demandas de forma organizada.

Para evaluar la potencial aplicación de esta arquitectura se desarrollaron modelos de programación matemática, para gestionar la producción de todas las plantas de forma integrada. Estos modelos matemáticos estarían en el corazón de la arquitectura de CMg, siendo el principal proceso de decisión que debería abordar la plataforma. Los resultados permiten evidenciar que sería muy provechoso para este conjunto de PYMES trabajar bajo este paradigma de CMg.

## 2 Conceptos de Cloud Manufacturing

Cloud Manufacturing propone como paradigma gestionar recursos de fabricación a través de la nube, vinculando las necesidades de los clientes con quienes ofrecen servicios de producción (o productores) [1]. Básicamente, este paradigma consiste en una plataforma que vincula a los productores de un mismo nicho de mercado en un mismo sistema de forma que puedan ofrecer sus servicios de producción a través de la plataforma. A su vez, la plataforma es visitada por los clientes, quienes solicitan distintos tipos de productos aclarando las especificaciones y particularidades que requieren para satisfacer sus necesidades. Entonces, la plataforma a partir de la base de datos de productores asociados busca asignar las demandas de los clientes a aquellos que mejor satisfagan esas demandas [5].

Esto abre un abanico de nuevas oportunidades para los productores, permitiéndoles llegar a clientes que de otra forma no podrían, e incluso, les permite ofrecer servicios que particularmente no podrían. Es decir, a través de la red de productores asociados a la nube, los productores pueden complementar sus capacidades productivas y ofrecer servicios productivos “compuestos” que de manera aislada no podrían [6]. Este tipo de sinergias y ventajas que ofrece CMg han sido los principales motivos por los que la comunidad científica se ha volcado intensamente hacia estos temas [3] [7].

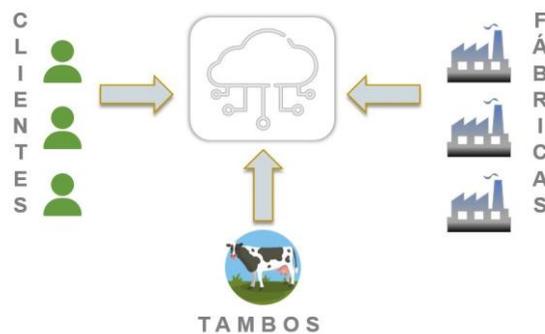
Esencialmente la estructura de CMg se compone de Clientes, Productores y la plataforma que gestiona la producción. Los productores deben solicitar el acceso a la plataforma y tener capacidad de mostrar sus capacidades productivas y técnicas. Desde la plataforma se gestionan las demandas de los clientes y se asocian dichas demandas a las capacidades que cada productor ofrece. También, se genera la composición de servicios y así poder ofrecer capacidades extendidas, que emergen de la posibilidad de

administrar de forma integrada las capacidades y recursos de los distintos productores asociados [1].

### 3 Presentación del caso de estudio

El problema abordado en este trabajo se centra en la industria láctea de Uruguay. Esta industria representa una de las principales actividades relacionadas al agro, con un marcado perfil exportador, donde más del 70% de la producción se exporta. La matriz industrial de este sector tiene una fuerte centralización en donde el 89% de la producción de leche se concentra en 5 empresas (una de ellas abarca el 70% del global). Esta centralización conlleva a que las PYMES para lograr sustentarse en el mercado deben ser eficientes y competitivas.

En este trabajo se estudia las ventajas de implementar una arquitectura de CMg para este sistema de producción, focalizando en una empresa real PYME de este sector productivo. La propuesta es estudiar qué impacto tendría si las alianzas comerciales que actualmente tiene con otras PYMES fuera profundizadas y desarrolladas a través de una plataforma de CMg. Lo que se propone, es a partir de generar una arquitectura de CMg, permitir a las PYMES vincular sus procesos de planificación y trabajar de forma sincronizada y organizada. De esta manera podrán abastecer todas las demandas que cada empresa recibe, así como también ofrecer servicios que de forma aislada no podrían. Por ejemplo, una de las empresas analizadas no tiene producción de quesos, pero sí de yogur y leches, pero muchos clientes prefieren comprar todo a un único proveedor: quesos, leches y yogur. A partir de una implementación de CMg, esta empresa podría captar esas demandas y producir yogures y leches, mientras que los quesos se los asigna a otra empresa dentro de la red de CMg, entonces podrá venderle a ese cliente. Algo que actualmente no consigue.



**Fig. 1.** Esquema de actores de arquitectura de Cloud Manufacturing analizada.

Otro aspecto muy positivo de implementar CMg sería mejorar el manejo de la materia prima, ya que el suministro de leche no es estable (depende de un proceso biológico). Una característica del sector es la fuerte volatilidad de la provisión de leche desde los Tambos. Estas cantidades varían fuertemente entre una semana y la siguiente, por

lo que la planificación de la producción es una tarea realmente compleja. Además, se trata de un producto perecedero, algo que agrega aún más estrés a la planificación, ya que no es posible almacenar materia prima en caso de excesos. Ante esta situación, una implementación de CMg, por ejemplo, frente a un exceso de materia prima que supera la capacidad de procesamiento, no tendría que esperar a que el camión llegue a fábrica para recién “derivarlo” hacia otra empresa. Sino que desde la plataforma se asignaría a otra empresa que tenga capacidad para procesarla. Pero no solo eso, desde la plataforma se pueden asignar órdenes de clientes que permitan absorber la producción obtenida a partir de esa materia prima. Dando un manejo más dinámico a la asignación de órdenes y capacidades reales de producción (dependientes de la disponibilidad de materias primas).

La arquitectura de la solución propuesta se muestra en la Figura 1, en donde se vinculan los productores, los tambos y los clientes, todos interrelacionados a través de la plataforma de CMg.

## 4 Modelado

Para el problema de planificación de la producción a resolver, se deben tener cuenta asignaciones de órdenes de producción a fábricas o productores, y además, estas fábricas deben hacer un uso eficiente de su capacidad así como también de la materia prima recibida desde los tambos. Considerando la complejidad intrínseca del problema, se desarrollaron modelos de programación matemática, que permitan resolver de forma eficiente la asignación de leche y órdenes de clientes a cada empresa, en donde la función objetivo a considerar es de minimizar los tiempos de producción y los costos.

La Figura 2 muestra la interacción entre las distintas partes involucradas en la plataforma de CMg y cómo estas se relacionan con el modelo en cuestión. En la misma, cada agente de la plataforma es identificado con una letra particular de acuerdo con:

- El conjunto  $C$  corresponde a los clientes de la plataforma y tiene cardinalidad  $R$ .
- $P$  es el conjunto de productos con cardinalidad  $N$ .
- El conjunto  $S$  representa a las fábricas con subíndice  $i$ .
- El conjunto de fábricas capacitadas para producir el producto  $p$ , con cardinalidad  $N'$ , se denomina  $K_p$ .

En primer lugar, se gestionan las órdenes de los clientes que corresponden a una cantidad determinada de cada producto del conjunto  $P$ . Por otro lado, se releva la información de las distintas fábricas, por ejemplo, de las máquinas disponibles en el momento con los costos y tiempos de producción correspondientes. Con esta información, en la gestión del servicio mostrada en la Figura 2, se determina el conjunto de fábricas capaces de realizar cada producto ( $K$ ). A través del modelo matemático, se obtiene la asignación óptima de las órdenes de los clientes, a nivel de producto, a cada una de las fábricas. El modelo fue implementado en AMPL y se utilizó el solver CPLEX 12.10.0.0. para obtener la solución óptima. Por motivos del límite de páginas permitidas para esta conferencia, no se presentan las formulaciones matemáticas del modelo. Sin embargo, las mismas pueden encontrarse en [8].

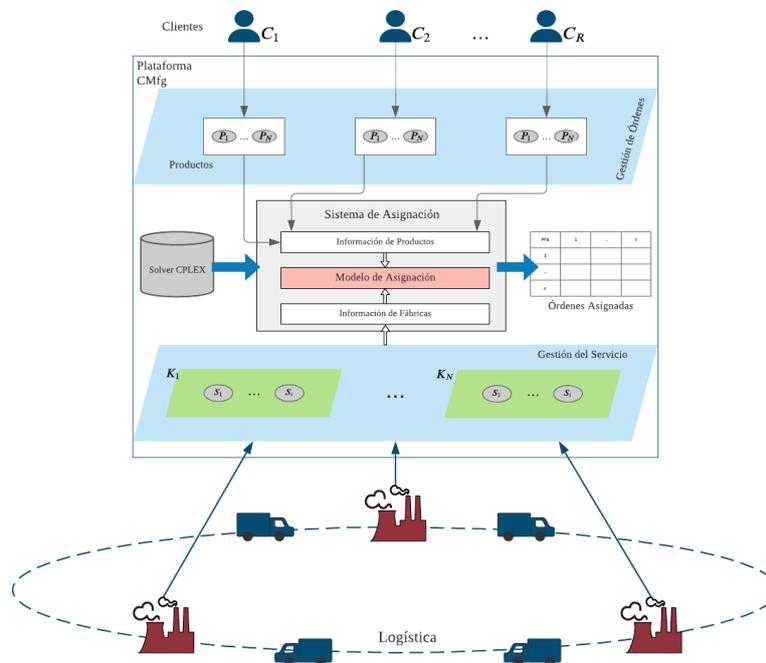


Fig. 2. Diagrama de procesos de toma de decisiones y gestión de las órdenes de los clientes.

## 5 Caso de estudio y resultados

Para evaluar la implementación de CMg se propone un caso de estudio en donde se comparan la asignación de órdenes de clientes a un conjunto de fábricas a través de un enfoque basado en CMg con el enfoque actual, en donde cada empresa administra sus clientes y sus respectivas órdenes de producción, junto con sus suministros de leche. El horizonte temporal a considerar es de una semana y se contempla un suministro de leche estándar. El objetivo es lograr minimizar los retrasos en las entregas, algo que atenta contra la calidad de servicios ofrecido por las PYMES, siendo este un indicador clave para poder crecer en un mercado tan competitivo.

Para representar el sistema individual se distribuyen los pedidos de clientes y tambos a las fábricas de forma equitativa. Esta distribución se entiende adecuada ya que no compromete a una fábrica en particular, ni tiene preferencia por ninguna de ellas. Esto se debe a que, por un lado, todas las fábricas tienen la capacidad de procesar la leche producida por el tambo con mayor capacidad y el pedido más grande de los clientes.

Por otro lado, la producción de los tambos y la capacidad de procesamiento de las fábricas son similares, es decir, varían en rangos limitados sin gran diferencia y en ningún caso el máximo valor duplica al mínimo de ellos.

En relación con los pedidos de los clientes, se toma en cuenta los productos que puede producir cada fábrica. Es decir, como las cinco fábricas pueden producir los dos tipos de leche y hay un total de 30 clientes, se asignaron seis clientes a cada una. Mientras que, en el caso de la manteca que solo tres fábricas pueden producirla, se asignaron diez clientes a cada una. En ambos casos se verificó, luego de realizada la distribución, que ninguna fábrica tenga a más de un cliente que no haya solicitado el producto. Por su parte, para la asignación de los tambos, se le asignaron seis tambos a cada una de las cinco fábricas de forma aleatoria, donde los tambos envían toda la leche producida a la misma fábrica.

**Tabla 1.** Resultados de órdenes de producto retrasadas en sistema individual vs. sistema CMg.

| Fábricas  | Sistema Individual | Sistema CMg |
|-----------|--------------------|-------------|
| <i>F1</i> | 598                | 0           |
| <i>F2</i> | 3.370              | 0           |
| <i>F3</i> | No Factible        | 0           |
| <i>F4</i> | 4.609              | 0           |
| <i>F5</i> | No Factible        | 0           |

Los resultados obtenidos para el sistema de distribución individual y el de CMfg se muestran en la Tabla 1. La solución obtenida a través del sistema CMg muestra que ninguna fábrica precisaría más de siete días para cumplir con la demanda asignada. Esto es esperable ya que el sistema de asignación CMg asegura que las fábricas puedan atender las órdenes de los clientes y procesar toda la leche enviada por los tambos en el periodo de una semana. Por otro lado, al observar la solución del sistema individual se tiene que las fábricas *F1*, *F2* y *F4* tuvieron retrasos en sus pedidos y las fábricas *F3* y *F5* no tienen una solución factible. Esto último se explica porque la leche que estas fábricas reciben de los tambos diariamente no puede ser procesada en el día por ninguna de ellas.

## 6 Conclusiones

En este trabajo se analizó el impacto que tendría implementar el paradigma CMg en la cadena de suministro láctea uruguaya. Los resultados obtenidos muestran que una potencial implementación podría llevar a mejorar notablemente el nivel de servicio de las empresas asociadas. Esta mejora resulta interesante ya que, si bien la implementación de una arquitectura CMg no es algo sencillo, también es cierto que es más económico que la ampliación de las instalaciones fabriles de las empresas, algo que sería una solución tradicional para mejorar el nivel de servicio. Es por eso que este estudio alienta a seguir profundizando el análisis de este desarrollo.

Como futura línea de trabajo se propone un análisis más detallado en términos de capacidades de producción , así como también de la logística implicada en los traslados de materia prima y productos terminados. También se podría comparar el sistema CMfg contra otras formas de distribución entre fábricas, por ejemplo, basado en las capacidades de cada fábrica o en la ventas de las mismas.

## References

1. Xu, X. (2012). From cloud computing to cloud manufacturing. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, 28(1), 75-86.
2. Li, B. H., Zhang, L., Wang, S. L., Tao, F., Cao, J. W., Jiang, X. D., ... & Chai, X. D. (2010). Cloud manufacturing: a new service-oriented networked manufacturing model. *Computer integrated manufacturing systems*, 16(1), 1-7.
3. Liu, Y., Wang, L., Wang, X. V., Xu, X., & Zhang, L. (2019). Scheduling in cloud manufacturing: state-of-the-art and research challenges. *International Journal of Production Research*, 57(15-16), 4854-4879.
4. INALE. Situación y Perspectiva de la Lechería Uruguay [https://www.inale.org/wp-content/uploads/2020/06/Situaci%C3%B3n-y-Perspectivas-lecher%C3%ADa-uruguay-2019\\_comp.pdf](https://www.inale.org/wp-content/uploads/2020/06/Situaci%C3%B3n-y-Perspectivas-lecher%C3%ADa-uruguay-2019_comp.pdf) . Último acceso: 22/5/2021
5. Ren, L., Zhang, L., Wang, L., Tao, F., & Chai, X. (2017). Cloud manufacturing: key characteristics and applications. *International journal of computer integrated manufacturing*, 30(6), 501-515.
6. Simeone, A., Caggiano, A., Boun, L., & Deng, B. (2019). Intelligent cloud manufacturing platform for efficient resource sharing in smart manufacturing networks. *Procedia Cirp*, 79, 233-238.
7. Halty, A., Sánchez, R., Vázquez, V., Viana, V., Piñeyro, P., & Rossit, D. A. (2020). Scheduling in cloud manufacturing systems: Recent systematic literature review. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 17(6), 7378-7397.
8. Halty Rivero, A., Sánchez Varela, R., & Vázquez Dalmás, V. (2021). Supply Chain en entornos de Cloud Manufacturing: aplicación en la industria láctea uruguaya [en línea] Tesis de grado. Montevideo, Uruguay, Udelar. FI., 2021.